نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۵۶۱-۵۳۹

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.3, Fall 2021, p. 539-561

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی پایداری شش بوم‌نظام تولید محصولات زراعی بر اساس تحلیل امرژی و اقتصادی در شهرستان هیرمند

سمیه میرشکاری[۱]، مهدی دهمرده[۲*]، محمدرضا اصغری‌پور[۳]، احمد قنبری[۳] و اسماعیل سیدآبادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲

میرشکاری، س.، دهمرده، م.، اصغری‌پور، م.ر.، قنبری، ا.، و سیدآبادی، ا.، ۱۴۰۰. ارزیابی پایداری شش بوم‌نظام تولید محصولات زراعی بر اساس تحلیل امرژی و اقتصادی در شهرستان هیرمند. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۳): ۵۶۱-۵۳۹.

چکیده

استفاده از رهیافت تحلیل امرژی در ارزیابی پایداری نظام‌های زراعی، منجر به اعمال مدیریت صحیح در راستای افزایش پایداری تولید در این نظام‌ها می‌شود. در این مطالعه، شش نظام تولید محصولات زراعی گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه در سطح شهرستان هیرمند، ایران، با استفاده از شاخص‌های امرژی و اقتصادی از نظر پایداری اکولوژیکی، ارزیابی شد. به این منظور، ۱۱۷ مزرعه برای گندم، ۴۷ مزرعه برای پیاز، ۳۲ مزرعه برای سیر، ۱۷ مزرعه برای زیره سبز، ۱۲ مزرعه برای رازیانه و هشت مزرعه برای سیاه‌دانه انتخاب شد. تعداد نمونه‌های مورد نیاز با استفاده از روش نیمن تعیین شد. داده‌های موردنیاز برای این مطالعه شامل ورودی‌ها و خروجی‌های محیطی و اقتصادی با استفاده از پرسش‌نامه و اندازه‌گیری‌های میدانی جمع‌آوری شد. نظام‌های تولید منطقه هیرمند عموماً کم نهاده هستند و با اتکای اندک به نهاده‌های بازاری مدیریت می‌شوند. در این پژوهش، ساختار امرژی ورودی و شاخص‌های امرژی برای نظام‌های مختلف محاسبه شد. کل انرژی حمایت‌کننده نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه شهرستان هیرمند به‌ترتیب $۳/۲۵×۱۰^{۱۶}$، $۳/۳۷×۱۰^{۱۶}$، $۴/۳۶×۱۰^{۱۶}$، $۲/۲۹×۱۰^{۱۶}$، $۱/۸۴×۱۰^{۱۶}$ و $۱/۸۲×۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار بود. جریان‌های محیطی رایگان به‌ترتیب ۷۴/۲۷، ۶۷/۸۵، ۵۲/۲۱، ۵۶/۱۶، ۵۶/۹۲ و ۵۲/۴۹ درصد از کل انرژی ورودی نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه را به خود اختصاص دادند. سهم زیاد نهاده‌های رایگان داخلی نشان می‌دهد که غالب مزارع مورد مطالعه، نظام‌هایی غیر صنعتی هستند که به‌شیوه سنتی و کم‌نهاده مدیریت می‌شوند. مقادیر محاسبه شده برای شاخص‌های پایداری استاندارد و اصلاح شده (ESI و *ESI) نشان داد، پایداری اکولوژیکی نظام تولید رازیانه بیشتر از سایر نظام‌های مطالعه است. دلیل اصلی پایداری بیشتر این نظام سهم زیاد انرژی ورودی مربوط به نهاده‌های محیطی رایگان و منابع تجدیدپذیر اقتصادی بود. همچنین بالا بودن کسر مبادله امرژی (EER)، پایداری زیست‌محیطی منتج از تأثیر بازار، مقدار انرژی صرف شده کمتر در تولید هر واحد خروجی و بهره‌وری بیشتر کل عوامل تولید حاکی از مزیت نسبی بیشتر نظام تولید رازیانه است. در مجموع، ارزیابی‌های انجام شده بر اساس محاسبه ۱۴ شاخص امرژی و اقتصادی نشان داد که در نظام‌های زراعی غالب شهرستان هیرمند، توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع بوم‌نظام تولیدی به‌ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و جلوگیری از فرسایش خاک می‌تواند در پایداری اکولوژیکی این نظام‌ها تأثیر چشمگیری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بار زیست‌محیطی، تحلیل تلفیقی، سیستان، کشاورزی فشرده، کمّی کردن پایداری

مقدمه

۱- دانشجوی دکتری رشته آگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.
۳- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، ایران.
۴- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)
DOI:10.22067/agry.2021.69477.1032

گسترش روش های متعارف تولید کشاورزی، یک بحران شدید زیست محیطی در سرتاسر جهان ایجاد نموده است. دانشمندان برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی، درصدد ارزیابی وضعیت پایداری نظام‌های تولید کشاورزی و چگونگی مدیریت این بوم‌نظام‌ها هستند (Amiri et al., 2021). هرگونه پیشرفت در افزایش دستیابی به تولیدات کشاورزی، زمانی ارزشمند خواهد بود که در بلندمدت پایدار باشد. پایداری در بهره‌برداری از تولیدات گیاهی و کشاورزی، مستلزم حفظ محیط زیست و منابع تولید، سودمندی اقتصادی منصفانه و حفظ توازن اکولوژیکی است (Abbona et al., 2007). حفظ و ایجاد پایداری نیاز به ارزیابی از طریق روش‌های صحیح و جامع دارد (Quintero-Angel & Gonzalez-Acevedo, 2018). استفاده از روش‌های جامع سنجش پایداری، با در نظر داشتن ابعاد اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی، منجر به ارائه اطلاعات مفیدی در مورد وضعیت فعلی دخالت‌های انسان روی بوم‌نظام‌ها خواهد شد (Perez, 2007). یکی از راه‌کارهای توسعه کشاورزی و پایداری، توجه به تعاملات انرژی و محیط زیست است. از روش‌های نوین در ارزیابی پایداری بر اساس برآورد کمّی و کیفی انرژی، تحلیل امرژی است (Odum, 2007).

امرژی به‌عنوان پلی میان محیط زیست و اقتصاد به‌وسیله برخی دانشمندان مطرح است (Brown & Ulgiati, 1997; Copeland et al., 2010; Lan et al., 2002; Odum, 1996; Ulgiati et al., 1994). امرژی، مقدار انرژی یا اگزرژی در دسترس خورشیدی است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در تولید کالا، خدمات یا محصول استفاده می‌شود. به امرژی، انرژی مجسم[1] یا "حافظه انرژی" گفته می‌شود و با امژول خورشیدی[2] (sej) سنجیده می‌شود (Odum et al., 2000). تحلیل امرژی با لحاظ نمودن تمام جریانات و ذخایر طبیعی و منابع اقتصادی و تبدیل آن‌ها به واحد امژول خورشیدی، منجر به بررسی پایداری نظام به‌طور جامع می‌شود. مبنای نظری و مفهومی روش‌شناسی امرژی بر تئوری نظام‌های انرژی و نظام‌های اکولوژی بنا نهاده شده است (Odum, 1996).

در ۳۰ سال گذشته تئوری نظام‌های انرژی و روش تحلیل امرژی به ابزاری سودمند برای تحلیل اقتصادی- بوم‌شناسی تبدیل شده و به‌طور گسترده‌ای در ارزیابی نظام‌های کشاورزی در مقیاس‌های مختلف از یک مزرعه واحد تا نظام‌های کشاورزی حمایت یک کشور استفاده شده است (Giannetti et al., 2011; Lu et al., 2010; Zhang et al., 2011, 2012). در مطالعه سه مزرعه با مدیریت‌های مختلف از نظر نوع و میزان نهاده‌های ورودی به‌ویژه با پایش فرسایش خاک به‌عنوان ورودی تجدیدناپذیر، در برزیل به‌کمک تحلیل امرژی، برنامه حوزه آبخیز منطقه مورد مطالعه طراحی گردید. درنهایت، نظامی که کمتر از ورودی‌های خریداری شده و شیمیایی استفاده نموده و تعامل بهتری با محیط داشت، پایدارتر اعلام گردید (Agostinho et al., 2008). محققین برای ارائه بهینه‌ترین نسبت سطح زیر کشت برنج (*Oryza sativa*) و سبزیجات در چین با استفاده از تحلیل امرژی، انرژی و برآورد اقتصادی، مطالعه‌ای انجام دادند (Lu et al., 2010). در این مطالعه، نظام‌های تولید سبزیجات بیشترین سوددهی اقتصادی را داشت و در بلندمدت بوم‌نظام تولید برنج و سپس نظام چرخشی برنج - سبزیجات پایدارتر گزارش شد. از این رو، این محققین نتیجه گرفتند چنانچه در قیمت‌گذاری برنج، توسط دولت تجدیدنظر صورت گیرد و قیمت افزایش یابد، نظام تولید برنج و برنج - سبزیجات ضمن پایداری اکولوژیکی بالاتر، دارای برتری اقتصادی نیز بر نظام سبزیجات خواهد شد. لو و همکاران (Lu et al., 2017) به ارزیابی تالاب‌های احیاء شده در چین به‌روش تلفیق ارزیابی اقتصادی و تحلیل امرژی پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تحلیل امرژی و ارزیابی اقتصادی، درک جامع و کاملی از وضعیت زیست‌محیطی و اقتصادی نظام‌ها را در بعد زمان و مکان بیان می‌کند. آن‌ها همچنین بیان کردند، شیوه تولید و خصوصیات نظام‌های کشاورزی، منجر به اثرات زیست‌محیطی و پایداری در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت خواهد شد. در مطالعه ارزیابی پایداری بین چهار نظام تولید محصولات گلخانه‌ای در ایران، گیاهی که طول دوره رشد طولانی‌تری داشت و بیشتر از انرژی‌های رایگان محیطی بهره‌مند شده بود، بر اساس شاخص‌های امرژیِ محاسبه شده، پایداری بیشتری را نشان داد (Asgharipour et al., 2020). در مطالعه مقایسه نظام‌های تولید مکانیزه و سنتی تولید کلزا در ایران بر اساس برآورد تابع تولید و تحلیل امرژی، بخش مهمی از ناپایداری نظام‌های مکانیزه، به کاهش شدید مواد آلی خاک نسبت داده شد (Amiri et al., 2020 a,b).

گندم از نظر تاریخی محصول اصلی منطقه سیستان است. نظام‌های کشاورزی و امنیت غذایی مردم در این منطقه بر مبنای

1- Embodied energy
2- Solar emJoule

تولید گندم شکل گرفته است. در سال‌های اخیر سطح زیر کشت گندم در بخش‌های مختلف سیستان از جمله هیرمند در شمال شرق منطقه سیستان به‌آرامی کاهش یافته است. طی ۱۰ سال اخیر سطح زیر کشت گندم در هیرمند از حدود ۱۵ هزار هکتار به‌حدود هشت هزار هکتار کاهش یافته است (Sistan and Baluchestan Province Statistical Yearbook, 2018). درحالی‌که سطح زیر کشت زراعت‌های جایگزین مانند سبزیجات، گیاهان غده‌ای و گیاهان دارویی افزایش یافته است. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد دلیل اصلی این تغییر در الگوی کشت منافع اقتصادی بالاتر از کشت زراعت‌های جایگزین در مقایسه با سود حاصل از گندم است (Yasini et al., 2020). دولت از طریق خرید انحصاری قیمت گندم را پایین نگه داشته است، درحالی‌که محصول سبزیجات و گیاهان دارویی در بازار آزاد فروخته می‌شوند. ارزیابی نظام‌های زراعی جایگزین برای ارائه اطلاعات به تصمیم‌گیرانی که هدف آن‌ها حفظ درآمد کشاورزان و کاهش اثرات زیست‌محیطی در منطقه است اهمیت دارد.

در این مطالعه پنج محصول مختلف پیاز، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌عنوان نماینده محصولات تولید شده در بوم‌نظام‌های کشاورزی هیرمند انتخاب شد تا مقایسه معتبری با نظام‌های تولید گندم به‌عنوان کشت اصلی منطقه انجام شود. روش‌های تحلیل امرژی و حسابداری اقتصادی برای مقایسه نظام‌های مختلف در منطقه هیرمند استفاده شد. اهداف این مطالعه عبارت بودند از ۱) ارزیابی ساختار سرمایه‌گذاری امرژی نظام‌های کشاورزی؛ و ۲) مقایسه‌نظام‌های مختلف منطقه هیرمند با توجه به کارآیی استفاده از منابع، بهره‌وری، تأثیرات محیطی و پایداری اکولوژیکی توسط شاخص‌های امرژی و اقتصادی.

مواد و روش‌ها

معرفی محل پژوهش

این پژوهش در شش نظام زراعی تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه شهرستان هیرمند واقع در منطقه سیستان، در شمال استان سیستان و بلوچستان اجرا گردید. این شهرستان در موقعیت ۳۰ درجه و ۷ دقیقه الی ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۵۸ دقیقه الی ۶۱ درجه ۵۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱).

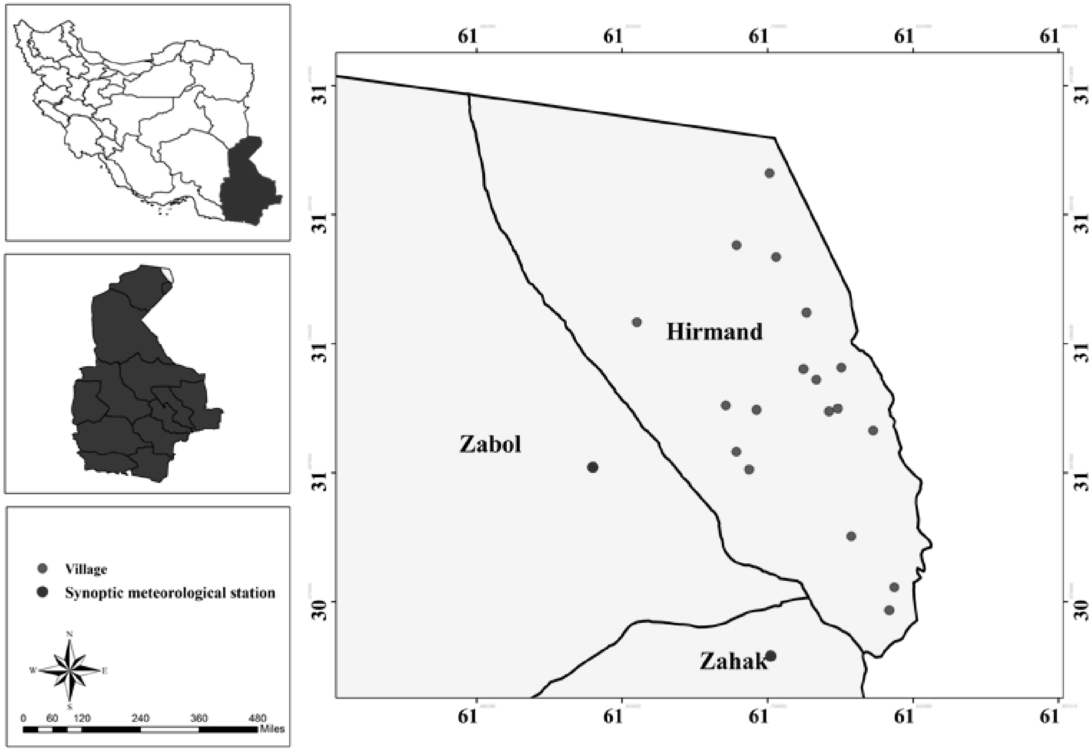
میانگین دمای سالانه منطقه سیستان ۲۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی هوا ۳۸ درصد و تبخیر و تعرق بالقوه بر اساس روش‌های مختلف محاسبه حدود ۴۱۹۶ میلی‌متر تا ۵۷۰۰ میلی‌متر محاسبه شده است (Negaresh & Khosravi, 2000). بر اساس آمار ۳۰ ساله هواشناسی در این منطقه به‌طور متوسط سالیانه بیش از ۳۰۰ روز خشکی هواشناسی وجود دارد. اقلیم منطقه به‌روش گوسن، بیابانی و به‌روش کوپن خشک و بسیار گرم با تابستان خشک و به‌روش تحلیل خوشه‌ای بسیار کم‌بارش و گرم و خشک است. از خصوصیات مهم اقلیمی این منطقه می‌توان به وزش بادهای شدید (بادهای ۱۲۰ روزه سیستان)، میانگین تعداد روزهای آفتابی سالیانه بیش از ۲۶۰ روز، دامنه تغییرات زیاد دما در شبانه‌روز، بارندگی سالیانه ناچیز (۶۴ میلی‌متر) با پراکندگی نامناسب، بالا بودن دما در ماه‌های خرداد تا شهریور را نام برد (Salari Sardi & Kiyani, 2009). اراضی زیر کشت محصولات زراعی شهرستان هیرمند بالغ‌بر ۲۸۰۰۰ هکتار است که عمدتاً شامل گندم، جو، پیاز، سیر، زیره‌سبز، بامیه، صیفی‌جات، یونجه، ذرت علوفه‌ای و انگور یاقوتی سیستان است. به‌طور سنتی گیاهان دارویی زیره سبز، رازیانه و سیاه‌دانه نیز سهم به‌سزایی در الگوی کشت منطقه به خود اختصاص داده‌اند (Hosseinzadeh, 1997).

جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه با استفاده از پرسش‌نامه چهره-به-چهره از تولیدکنندگان محصولات گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه شهرستان هیرمند جمع‌آوری شد. این بررسی در ۱۸ روستا انجام شد که در آن تولیدات زراعی قابل‌توجهی وجود داشت. درمجموع ۲۳۳ تولیدکننده به‌صورت تصادفی از روستاها با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای انتخاب شدند.

نمونه‌گیری تصادفی از مزارع با استفاده از روش نیمن تعیین شد (Yamane, 1967):

$$n = \frac{\sum N_h S_h}{N^2 D^2 + \sum N_h S_h^2}$$ معادله (۱)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان سیستان و بلوچستان

Fig. 1- Studied of location within Iran and Sistan and Baluchistan Province

نقاط خاکستری موقعیت روستاهای مورد مطالعه در شهرستان هیرمند و نقاط سیاه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی زابل و زهک است.

The green points indicate the location of the examined villages in Hirmand county, while the red points represent the location of the Zabol and Zahak meteorological stations.

که در آن، n: اندازه نمونه موردنیاز، N_h: تعداد تولیدکنندگان محصولات در طبقه h، S_h: انحراف استاندارد در طبقه h و S_h^2: واریانس طبقه h است. $D2 = d2/z2$ که در آن d: دقت و z: ضریب اطمینان (۱/۹۶ که ۹۵ درصد قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد) است. برای این مطالعه، ۱۱۷ نمونه برای گندم، ۴۷ نمونه برای پیاز، ۳۲ نمونه برای سیر و ۱۷ نمونه برای زیره سبز، ۱۲ نمونه برای رازیانه و هشت نمونه برای سیاه‌دانه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند.

تمام اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های زراعی با استفاده از دو روش به شرح زیر به‌دست آمد: نخست، برآوردهای کلامی با استفاده از پرسش‌نامه در طول ماه‌های آبان ۱۳۹۸ تا تیر ۱۳۹۹ و دوم، اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات نویسندگان در طول دوره زمانی مشابه. اطلاعاتی که توسط مدیر و کارکنان مزرعه ارائه شده بود، دقیق در نظر گرفته شد، زیرا کارکنان به‌قدر کافی تجربه کاری داشته و اطلاعات دقیقی در خصوص هر مرحله از تولید ارائه کردند. علاوه‌بر داده‌های به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه‌ها، مطالعات قبلی سازمان‌های مرتبط مانند وزارت جهاد کشاورزی ایران نیز در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (MAJ, 2018). شیوه‌های مدیریت تولید محصولات زراعی در جدول ۱ نشان داده شده است.

آمار و اطلاعات هواشناسی بلندمدت و انرژی تابش خورشیدی از ایستگاه‌های هواشناسی زابل و زهک به‌دست آمد. جریان انرژی ورودی سالانه به‌شکل تأسیسات ساختاری، ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورداستفاده در نظام‌ها با توجه به طول عمر خدمات آن‌ها برآورد شد (Vassallo et al., 2007). طول عمر ماشین‌آلات ۲۵ سال و ساختمان‌ها ۴۰ سال (Asgharipour et al., 2019) تخمین زده شد.

با وجود اینکه مساحت نظام‌های مورد مطالعه از ۰/۱۵ تا بیش از ۱۰ هکتار متغیر بود، امّا به‌منظور ایجاد سهولت در محاسبات و مقایسه

میان نظام‌های تولید، مقادیر نهاده‌ها و خروجی برای هر یک از نظام‌های کاشت برای مساحت یک هکتار استاندارد شدند. در تطابق با مطالعات پیشین سهم تجدیدپذیری نیروی کار در ایران ۱۰ درصد در نظر گرفته شد (Ulgiati et al., 1994; Jafari et al., 2018).

روش تحلیل امرژی

جزئیات فرآیند تحلیل امرژی توسط محققین مختلف ارائه شده است (Uligati et al., 1994; Odum, 1996; Odum et al., 2000; Brown & Ulgiati, 1998). اولین گام برای تحلیل امرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی شش نظام مورد بررسی و ترسیم دیاگرام انرژی برای طبقه‌بندی نهاده نظام‌های مورد بررسی به منابع تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر، محلی یا وارداتی است. این کار برای مدیریت روابط بین اجزای اصلی و فرآیندهای سودآور نظام ضروری است و هم‌چنین پایه‌های زیست‌محیطی بوم‌نظام و ارتباط آن‌ها را نمایش می‌دهد. شکل ۲ نمودار زبان مفهومی نظام‌های انرژی در بوم‌نظام‌های گندم، پیاز و سیر و گیاهان دارویی مورد بررسی را نشان می‌دهد. زبان نظام‌های انرژی یک زبان نمادین برای مدل‌سازی است. این زبان خصوصیات شبکه نظام‌ها را نشان می‌دهد (Odum, 1996). دومین گام برای تحلیل امرژی، ترسیم جداول ارزیابی امرژی است. در شکل ۳ مراحل تحلیل امرژی نظام‌های تولید شهرستان هیرمند نشان داده شده است.

برای تجزیه‌وتحلیل نظام‌های تولید، منابع به چهار دسته تقسیم می‌شوند (Lu et al., 2010): منابع محیطی تجدیدپذیر (R)، شامل: نور خورشید، باد، انرژی شیمیایی و انرژی پتانسیل زمین‌شناسی باران، آب رودخانه و تبخیر و تعرق آب‌های تجدیدپذیر؛ منابع محیطی تجدیدناپذیر (N)، شامل: فرسایش خاک، تلفات ماده آلی خاک، آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق آب‌های زیرزمینی؛ منابع خریداری شده تجدیدپذیر (FR)، شامل: ۲۰ درصد کود آلی، بین ۱۵ تا ۲۵ درصد بذر، ۱۰ درصد نیروی کارگری و هفت درصد الکتریسیته؛ منابع خریداری شده تجدیدناپذیر[1] (FN)، شامل: ماشین‌آلات کشاورزی، سوخت فسیلی، کودها و سموم شیمیایی، ۹۳ درصد الکتریسیته، ۹۰ درصد نیروی کارگری، ۷۵ تا ۸۵ درصد بذر مصرفی و ۸۰ درصد کود آلی (Asgharipour et al., 2018).

تغییرات ذخایر انرژی ناشی از تلفات یا افزایش مواد آلی خاک، با وجود اهمیت زیاد این ذخایر به‌ندرت در تحلیل‌ها لحاظ می‌شوند (Fan et al., 2018). در این مطالعه تلفات مواد آلی خاک به‌عنوان یک نهاده انرژی محاسبه شد. برای ارزیابی تلفات مواد آلی، میزان مواد آلی خاک پیش از کاشت گیاهان و پس از برداشت گیاهان اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی صفر تا ۲۰ سانتی‌متری از مزارع انجام گرفت. ابتدا نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از کوبیده شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. ماده آلی خاک به‌روش LOI[2] در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت در کوره الکتریکی اندازه‌گیری شد (Hashemi Bani et al., 2009). فرسایش آبی با مدل RUSLE[3] تخمین زده شد (Mohammadi et al., 2018). مقدار فرسایش بادی در تمام مزارع مورد مطالعه ۰/۶ گرم بر سانتی مترمربع تخمین زده شد (Solouki et al., 2009).

امرژی ماشین‌آلات با توجه به وزن فولاد به‌کار رفته، عمر اقتصادی ماشین، ساعات کار ماشین‌آلات در سال در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2019). برای محاسبه امرژی بذر مصرفی از ضریب امرژی به‌ازای واحد پول استفاده شد (Amiri et al., 2021). پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی (U) و خروجی (Y)، اطلاعات خام برای هر کدام از نظام‌های تولید، بر حسب ژول، گرم یا ریال توجه به شرایط ایران در ارزش واحد امرژی[4] آن‌ها ضرب شد (Campbell et al., 2005; Asgharipour et al., 2019, 2020; Amiri et al., 2019, 2020, 2021; Odum et al., 2000).

در تحلیل امرژی از شاخص‌های امرژی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده می‌شود (Lu et al., 2010, 2018). در این مطالعه ضریب تبدیل (Tr[5])، درصد تجدیدپذیری امرژی (%R[6])، نسبت عملکرد امرژی (EYR[7])، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR[8])، نسبت بار محیط زیستی (ELR[9]) و نسخه اصلاح شده آن (*ELR).

1- Purchased non-renewable flow

2- Loss on ignition
3- Revised Universal Soil Loss Equation
4- Unit emergy value
5- Transformity
6- Renewable emergy ratio
7- Emergy yield ratio
8- Emergy investment ratio
9- Environmental loading ratio

جدول ۱- عملیات مدیریتی در نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره و سیاه‌دانه شهرستان هیرمند

Table 1- Management operations for production systems of wheat, garlic, onion, fennel, cumin and black seed in Hirmand county

عملیات **Operations**	گندم **Wheat**	پیاز **Onion**	سیر **Garlic**	رازیانه **Fennel**	زیره **Cumin**	سیاه‌دانه **Black seed**
سطح زیر کشت Cropping area (ha)	8249	257	37	17	10	8
ارقام متداول Name of varieties conventional	هامون، هیرمند، بولانی و کلک Hamoun, Hirmand, Boolani and Kalak	آدمیرال، گرانو Admiral and Grano	ارقام بومی Landrace populations	ارقام بومی Landrace populations	ارقام بومی Landrace populations	ارقام بومی Landrace populations
تاریخ کاشت Planting time	آبان - آذر November-December	شهریور - مهر September-October	مهر October	آبان November	آبان November	اسفند March
ماشین‌آلات Machinery	تراکتور، گاوآهن، دیسک، فاروئر، کمباین برداشت، تریلی و کامیون Tractor, Plowing, disc, furrower, combine harvester, trailers and trucks	تراکتور، گاوآهن، دیسک، فاروئر، تریلی و کامیون Tractor, Plowing, disc, furrower, trailers and trucks	تراکتور، گاو آهن، دیسک، فاروئر و تریلی Tractor, Plowing, disc, furrower and trailers	تراکتور، گاو آهن، دیسک و تریلی Tractor, Plowing, disc and trailers	تراکتور، گاو آهن، دیسک و تریلی Tractor, Plowing, disc and trailers	تراکتور، دیسک و تریلی Tractor, disc and trailers
آبیاری Irrigation	آبیاری شیاری- آبیاری سنتی (کرتی) Furrow irrigation, traditional (flooding) irrigation	آبیاری شیاری- آبیاری سنتی (کرتی) Furrow irrigation, traditional (flooding) irrigation	آبیاری سنتی (کرتی) Traditional (flooding) irrigation	آبیاری سنتی (کرتی) Traditional (flooding) irrigation	آبیاری سنتی (کرتی) Traditional (flooding) irrigation	آبیاری سنتی (کرتی) Traditional (flooding) irrigation
تاریخ برداشت Harvesting time	خرداد - تیر May-June	خرداد May	خرداد May	تیر June	اردیبهشت April	تیر June

شاخص پایداری محیط زیست (ESI[۱۰]) و نسخه اصلاح شده آن (ESI*)، کسر مبادله امرژی (EER[۱۱]) و شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS[۱۲]) استفاده شد. مشخصات و فرمول شاخص‌های امرژی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۲ ارائه‌شده است.

تحلیل اقتصادی

به‌منظور تحلیل شرایط اقتصادی نظام‌های مورد بررسی، برخی از شاخص‌های اقتصادی شامل درآمد ناخالص، درآمد خالص، کل هزینه‌های تولید، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری برای تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه بر مبنای قیمت‌های سال ۱۳۹۸ محاسبه شد (Asgharipour et al., 2012).

NR=GVP-TCP معادله (۲)

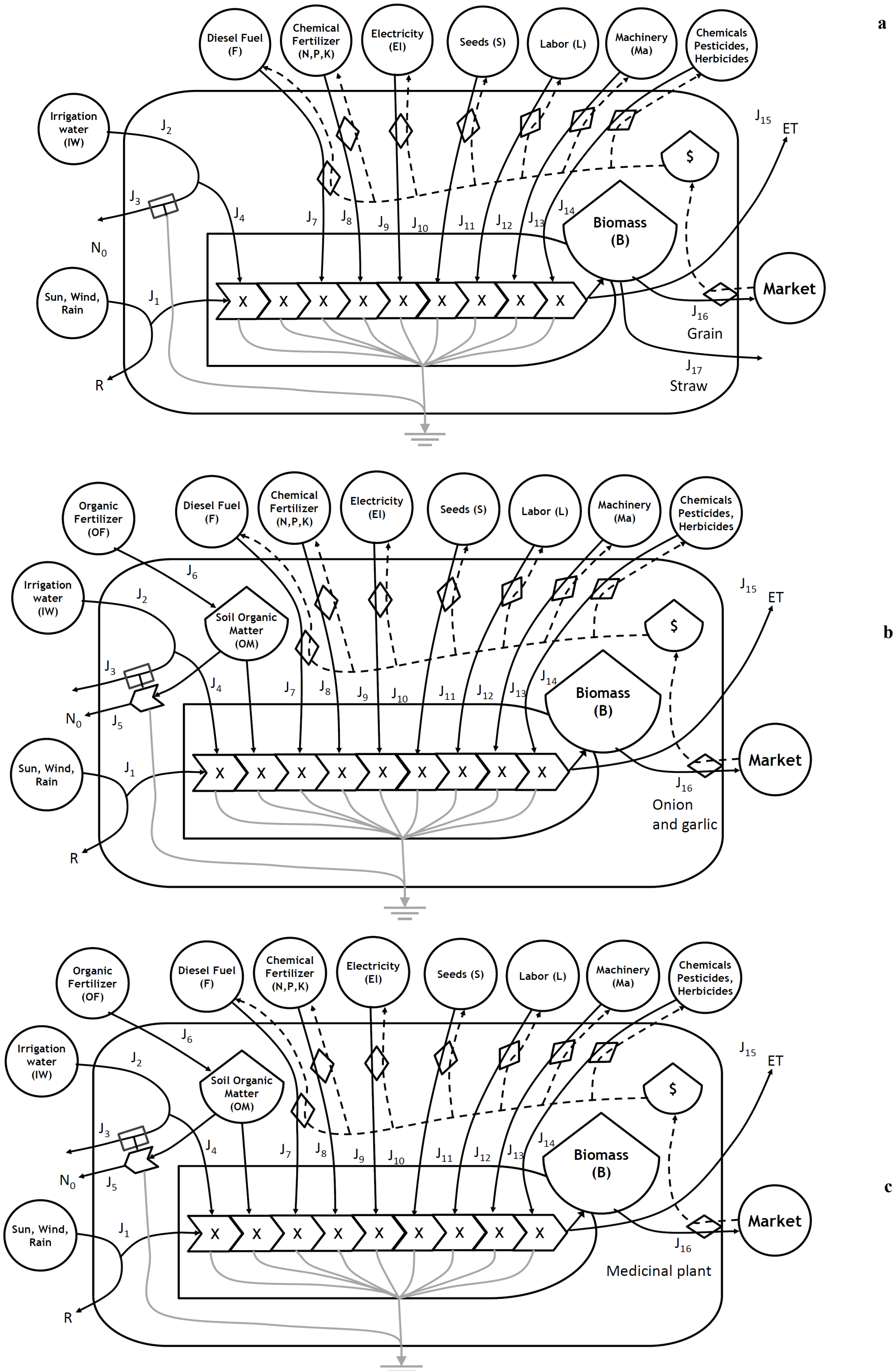
GVP=CY*CP معادله (۳)

TCP=VCP-FCP معادله (۴)

B to C=GVP/TCP معادله (۵)

که در آن، NR: درآمد خالص (میلیون تومان در هکتار)، GVP: ارزش ناخالص تولید (میلیون تومان در هکتار)، TCP: هزینه‌های تولید (میلیون تومان در هکتار)، CY: عملکرد محصول زراعی (کیلوگرم در هکتار)، CP: قیمت محصول (تومان در کیلوگرم) و B TO C: نسبت سود به هزینه است.

1- Environmental sustainability index
2- Emergy exchange ratio
3- Emergy index of product safety



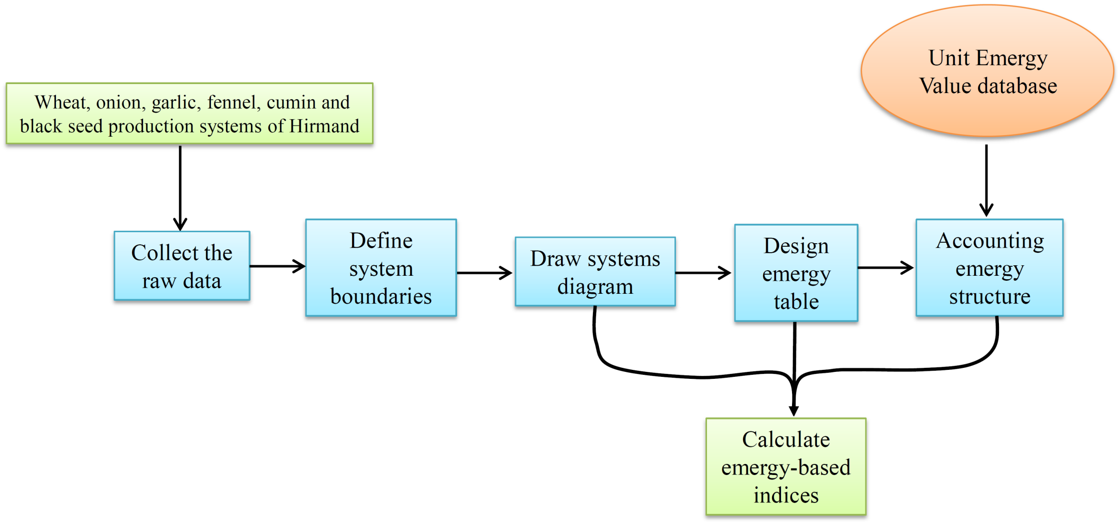
شکل ۲- دیاگرام جریان انرژی نظام‌های تولید گندم (الف)، پیاز و سیر (ب) و گیاهان دارویی (ج) در شهرستان هیرمند

Fig. 2- Diagram of the energy flows in the wheat (a), onion and garlic (b) and medicinal plant (c) production system

جدول ۲- مشخصات و فرمول‌های شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای ارزیابی نظام‌های تولید گندم، سیر، پیاز، رازیانه، زیره و سیاه‌دانه در هیرمند

Table 2- Specifications and formulas of indicators based on energy used to evaluate the production systems for wheat, garlic, onion, fennel, cumin and black seed of Hirmand

منبع Reference	خصوصیات Specifications	فرمول Formula	شاخص Index
مطابق تعریف By definition	جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental flows	R	ورودی‌های تجدیدپذیر از منابع رایگان Renewable inputs from free local resources
مطابق تعریف By definition	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع محلی رایگان Non-renewable environmental flows	N	ورودی‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs
مطابق تعریف By definition	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع بازاری Renewable flows from purchased resources	F_R	ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر Renewable purchased inputs
مطابق تعریف By definition	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع بازاری Non-renewable purchased flows	F_N	ورودی‌های بازاری تجدیدناپذیر Non-renewable purchased inputs
مطابق تعریف By definition	کل منابع امرژی مورد نیاز برای حمایت از نظام تولید Total emergy resources required to support the production system	$U=R+N+F_R+F_N$	ورودی امرژی کل Total emergy input
Brown & Ulgiati (2004)	مقدار امرژی موردنیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول، AE محتوای انرژی محصول است. Amount of emergy required to produce an output unit in joules. AE is the energy content.	$Tr = U/AE$	ضریب تبدیل Transformity
Odum (2000)	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده شده توسط نظام Percentage of the renewable energy used by the system	$\%R= (R+F_R/U) \times 100$	تجدیدپذیری امرژی Emergy renewability
Odum (2000)	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی Ability of a process to use renewable and nonrenewable environmental resources with economic resources as a capital	$EYR=Y/F_R+F_N$	نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio
Brown & Ulgiati (2004)	EIR نسبت منابع انرژی خریداری شده از خارج به کل انرژی محیطی رایگان در نظام EIR is the ratio of emergy resources purchased from outside to all free environmental emergy in the system	$EIR=(F_R+F_N)/(R+N)$	نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment ratio
Lu et al. (2014)	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام Environmental pressure produced by a process	$ELR=(N+F_N+ F_R)/R$	نسبت بار زیست‌محیطی استاندارد Standard environmental loading ratio
Lu et al. (2014)	مقیاس اندازه‌گیری پایداری An inverse measure of sustainability	$ELR^*= (N+F_N)/(F_R+ R)$	نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio
Lu et al. (2014)	وابستگی خروجی نظام به محیط، هر چه این مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی‌تر است. The dependence of the system output on the environment, the greater the value, the stronger the sustainability of the system.	$ESI=EYR/ELR$	شاخص پایداری محیط Emergy sustainability index
Lu et al. (2014)	شاخص پایداری متناوب که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر توأم با حداقل فشار وارده بر محیط زیست متمرکز است. Alternate sustainability index that focuses on the use of renewable resources with minimal pressure on the environment.	$ESI^*= (EYR/ELR^*)$	شاخص پایداری محیط اصلاح شده Modified environmental sustainability Index
Odum (1996)	Economic output (A system yield) traded with money in the market (YM) on total emergy input rate (U) خروجی اقتصادی (عملکرد نظام) مبادله شده با پول در بازار (YM) تقسیم بر کل امرژی ورودی نظام (U)	$EER= YM/U$	کسر مبادله امرژی Emergy exchange ratio
Xi & Qin (2009)	این شاخص اثر کود شیمیایی، سموم دفع آفات و علف‌کش‌ها را بر ایمنی محصول ارزیابی می‌نماید. It assesses the effect of chemical fertilizer, pesticide and herbicide use on product safety	$EIPS=1- [C \div (F_N + F_R)]$	شاخص امرژی سلامت تولید C مجموع امرژی علف‌کش، سموم و کود Emergy index of agricultural product safety. C is the sum of herbicide, pesticide and fertilizer emergy



شکل ۳- دیاگرام روند تحلیل امرژی نظام‌های تولید محصولات کشاورزی هیرمند

Fig. 3- Emergy synthesis flowchart of agricultural production systems of Hirmand

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

جدول ۳ جریان ورودی‌های محیطی رایگان، خریداری شده و خروجی‌ها را بر اساس واحدهای فیزیکی برای شش نظام مختلف تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه نشان می‌دهد. نهاده‌های ورودی بر حسب کسرهای تجدیدپذیری به دو بخش نهاده‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم شدند. کل امرژی حمایت‌کننده نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب $۴/۳۶\times۱۰^{۱۶}$، $۳/۳۷\times۱۰^{۱۶}$، $۳/۲۵\times۱۰^{۱۶}$، $۲/۲۹\times۱۰^{۱۶}$، $۱/۸۴\times۱۰^{۱۶}$ و $۱/۸۲\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار تخمین زده شد. مقایسه مقادیر امرژی ورودی نظام‌های مورد مطالعه نشان داد که بین شش نظام مورد مطالعه امرژی کل ورودی در نظام سیر بیشترین و امرژی کل ورودی به نظام تولید سیاه‌دانه کمترین بود. در این مطالعه مصرف زیاد امرژی در تولید سیر به‌دلیل هزینه بالای تأمین بذر سیر، مصرف کود نیتروژن بیشتر و نیروی انسانی است. در سیاه‌دانه این مقادیر به‌میزان قابل توجهی پایین‌تر بوده که موجب گردیده میزان امرژی در این نظام‌ها تفاوت چشمگیری با یکدیگر داشته باشند. مقدار بالاتر ورودی امرژی به یک نظام با میزان مکانیزه و صنعتی شدن آن نظام رابطه مستقیم دارد (Amiri et al., 2019). در این مطالعه مصرف زیاد امرژی در تولید سیر به‌دلیل هزینه بالای تأمین بذر سیر بود.

در مطالعه‌ای بر مبنای تحلیل امرژی، جریان ورودی به نظام‌های سنتی جو، گندم و علوفه یونجه در هندوستان به‌ترتیب $۲/۹۴\times۱۰^{۱۵}$، $۳/۶۵\times۱۰^{۱۵}$ و $۲/۳۵\times۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار گزارش شد (Pelliciardi et al., 2014). در بررسی پایداری مزارع با روش کشاورزی حفاظتی در منطقه نیمه‌خشک کانادا میزان امرژی ورودی به نظام زراعی با تناوب آیش-کلزا-گندم دوروم در دو روش کشت بدون شخم و شخم حداقل به‌ترتیب جریان ورودی نظام‌ها $۲/۴۹\times۱۰^{۱۵}$ و $۲/۷۷\times۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار گزارش شد (Fan et al., 2018). همچنین در نظام تولید قهوه در عرصه‌های طبیعی برزیل جریان ورودی به نظام تولید $۸/۲۵\times۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار گزارش گردید (Giannetti et al., 2011). نهاده‌های ورودی در شش نظام مورد مطالعه به نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر (R)، نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)، نهاده‌های اقتصادی تجدیدپذیر (F_R) و نهاده‌های اقتصادی تجدیدناپذیر (F_N) تقسیم‌بندی شدند.

نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

جریان‌های محیطی قابل‌تجدید به‌طور مستقیم از انرژی‌های نور خورشید منشعب می‌شوند. لذا به‌منظور اجتناب از شمارش مضاعف، به‌عنوان امرژی جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2019).

جدول ۳- جریان‌های طبیعی و اقتصادی نظام‌های مختلف تولید شهرستان هیرمند (واحد هکتار در سال)

Table 3- Natural and economic flows of the different production systems of Hirmand township in units ha^{-1}

	Unit واحد	Wheat گندم	Onion پیاز	Garlic سیر	Fennel رازیانه	Cumin زیره سبز	Black seed سیاه‌دانه
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs (R)							
نور خورشید Solar energy	J	2.74E+13	4.26E+13	3.83E+13	3.80E+13	2.38E+13	3.35E+13
انرژی جنبشی باد Wind kinetic energy	J	8.11E+11	1.87E+12	1.56E+12	2.62E+12	6.81E+11	5.66E+11
انرژی شیمیایی باران Rain chemical	J	2.89E+09	2.89E+09	2.89E+09	2.89E+09	2.89E+09	7.11E+09
آب رودخانه River water	J	2.26E+10	1.46E+10	1.53E+10	1.06E+10	9.65E+09	6.55E+09
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	J	2.14E+10	1.35E+10	1.40E+10	9.81E+09	8.86E+09	1.35E+10
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs (N)							
آب‌های زیرزمینی Ground water	J	4.92E+09	1.29E+10	1.43E+10	3.47E+09	3.75E+09	0.00E+00
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	J	3.46E+09	1.15E+10	1.25E+10	3.22E+09	3.51E+09	0.00E+00
تلفات ماده آلی و خاک Sil organic matter reduction	J	1.42E+11	9.50E+10	9.50E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
فرسایش خاک Soil erosion	g	6.92E+06	6.92E+06	6.92E+06	6.92E+06	6.92E+06	6.92E+06
نهاده‌های خریداری شده Purchased inputs (F_R & F_N)							
نیروی کار Human labor	J	2.96E+08	5.88E+08	7.53E+08	4.70E+08	2.35E+08	1.57E+08
ماشین‌آلات Machinery	g	6.60E+03	5.19E+03	5.45E+03	2.12E+03	2.91E+03	1.80E+03
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	g	5.46E+09	2.80E+09	6.91E+09	1.12E+09	1.77E+09	1.17E+09
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	1.50E+05	2.70E+04	2.16E+04	2.00E+05	0.00E+00	2.00E+05
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	7.50E+04	6.90E+04	5.52E+04	0.00E+00	1.50E+05	0.00E+00
کود پتاسیم Potash fertilizer	g	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.00E+05	0.00E+00	2.00E+05
کود میکرو Micro fertilizer	g	1.00E+03	5.40E+04	4.32E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
کود دامی Manure	g	0.00E+00	6.00E+06	9.00E+06	6.00E+06	7.50E+06	3.00E+06
آفت کش Pesticide	g	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
علف‌کش Herbicide	g	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.00E+02
الکتریسیته Electricity	J	1.73E+08	2.59E+08	3.42E+08	1.73E+08	1.58E+08	1.40E+08
بذر Seed	ریال Rials	4.5.E+06	5.20E+07	1.88E+08	6.48E+06	1.10E+07	8.64E+06
خروجی Output (O)							
عملکرد اقتصادی* Economic yield	g	2.00E+06	9.60E+06	8.00E+06	1.40E+06	1.50E+06	6.00E+05
عملکرد اقتصادی Economic yield	J	2.90E+10	1.54E+10	1.28E+10	1.92E+10	1.88E+10	8.70E+09
عملکرد کاه کلش Straw yield	g	2.70E+06	-	-	-	-	-
عملکرد کاه کلش Straw yield	J	6.08E+09	-	-	-	-	-

در تمام نظام‌های این مطالعه انرژی جنبشی باد بزرگ‌ترین آیتم در میان ورودی‌های رایگان محیطی بود. جریان R برای نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۱/۰۴×۱۰^{۱۵}، ۲/۳۸×۱۰^{۱۵}، ۱/۹۹×۱۰^{۱۵}، ۳/۳۱×۱۰^{۱۵}، ۸/۷۵×۱۰^{۱۴} و ۷/۴۱×۱۰^{۱۴} ام‌ژول خورشیدی در هکتار بود (جدول ۴). مقایسه مقادیر R شش نظام مورد مطالعه، بیانگر بهره‌مندی بیشتر نظام تولید رازیانه از جریانات تجدیدپذیر محیطی به‌دلیل طولانی بودن دوره رشد گیاه رازیانه و هم‌زمانی بخشی از رشد با بادهای ۱۲۰ روزه منطقه سیستان بود. از سوی دیگر، دلیل پایین بودن میزان امرژی ورودی در نظام سیاه‌دانه از منبع نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر دوره رویش کوتاه و اتمام فصل رشد پیش از شروع بادهای منطقه سیستان است. محققین در چین میزان R نظام تولید برنج را ۱/۸۲×۱۰^{۱۵} ام‌ژول خورشیدی در هکتار برآورد کردند (Su et al., 2020).

نهاده‌های ورودی خریداری شده (F_N و F_R)

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود سهم بالایی از ورودی‌های نظام‌های مورد مطالعه مربوط به جریان‌های خریداری شده بود. بیشترین میزان مصرف نهاده‌های بازاری در نظام تولید سیر و کمترین میزان مصرف این نهاده‌ها در زیره سبز مشاهده شد. دلیل بالا بودن سهم جریان‌های ورودی خریداری شده در نظام تولید سیر، هزینه بالای بذر بود که در این مطالعه بر حسب وزن بذر مصرفی و بر اساس امرژی واحد پول ایران (ریال) محاسبه شد (Asgharipour et al., 2019). در زراعت گیاهانی که کاشت آن‌ها غیر از دانه و به‌وسیله پیازچه، غده و غیره است، سهم بالایی از هزینه‌های تولید، مربوط به تهیه بذر است (Amiri et al., 2021).

ساختار و اجزای جریان‌های ورودی خریداری شده در شش نظام تولید مورد بررسی، با یکدیگر متفاوت بود. در نظام تولید گندم بیشترین سهم نهاده‌های خریداری شده مربوط به کود نیتروژن، کود فسفر و نیروی انسانی به‌ترتیب با سهمی برابر با ۱۴/۲۵، ۶/۵۰ و ۲/۰۲ درصد از امرژی ورودی بود. حال آنکه در نظام‌های دیگر مطالعه، بیشترین سهم در میان نهاده‌های خریداری شده نسبت به امرژی ورودی برای پیاز بذر، کود فسفر، کود آلی به‌ترتیب با سهمی برابر با ۱۰/۴۳، ۵/۷۷ و ۵/۲۷ درصدی؛ سیر بذر، کود آلی، نیروی انسانی با سهمی برابر با ۲۹/۰۶، ۶/۱۱ و ۳/۸۳ درصدی؛ رازیانه کود نیتروژن، کود آلی و نیروی انسانی به‌ترتیب با سهمی برابر با ۲۶/۹۹، ۷/۷۵ و ۴/۵۶ درصدی؛ زیره سبز کود فسفر، کود آلی و بذر به‌ترتیب با سهمی برابر با ۲۲/۹۷، ۱۲/۰۵ و ۴/۰۴ درصدی؛ و سیاه‌دانه کود نیتروژن، کود آلی و بذر به‌ترتیب با سهمی برابر با ۳۴/۰۵، ۴/۸۹ و ۳/۲۲ درصدی بود.

شاخص‌های امرژی

ارزیابی با استفاده از شاخص‌های امرژی در شناسایی تمایز بین شش نظام تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه ازلحاظ ویژگی‌های کارکردی شامل پایداری اکولوژیکی، کارایی استفاده از منابع، اثرات زیست‌محیطی، بهره‌وری اقتصادی و میزان رقابتی بودن در بازار مؤثر است. مقایسه شاخص‌های امرژی در نظام‌های مختلف، انعکاسی از شیوه مدیریتی و چگونگی اعمال روش‌های تولید، در بوم‌نظام‌های مورد بررسی است. روابط و تعاریف شاخص‌های موردبحث در جدول ۲ و مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی در جدول ۵ ارائه‌شده است.

ضریب تبدیل (Tr)

ضریب تبدیل شاخصی مؤثر برای ارزیابی بازده امرژی تولید محصول است (Brown & Ulgiati, 2004). مقدار بیش‌تر Tr به‌ازای تولید یکسان، اثربخشی ضعیف امرژی از جنبه اقتصادی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهد (Odum, 1996; Lu et al., 2010). در میان نظام‌های مورد مطالعه بیشترین مقدار شاخص Tr مربوط به‌نظام تولید سیر (۳/۴۱×۱۰^{۶} ام‌ژول خورشیدی در ژول) و کمترین مقدار این شاخص مربوط به‌نظام تولید گندم (۹/۲۷×۱۰^{۵} ام‌ژول خورشیدی در ژول) بود. مقایسه مقادیر ضرایب تبدیل شش نظام مورد مطالعه نشان داد، بازده امرژی ورودی نظام تولید گندم به‌ترتیب ۵/۹، ۲۸/۴، ۱۲۵/۴، ۱۳۶/۲ و ۲۶۷/۹ درصد بیشتر از نظام‌های تولید زیره سبز، رازیانه، سیاه‌دانه، پیاز و سیر بود. دلیل اصلی بازده بهتر امرژی ورودی نظام‌های تولید گندم، میزان بیشتر تولید محصول اقتصادی در واحد سطح نسبت به امرژی ورودی به نظام، در مقایسه با نظام‌های دیگر بود.

جعفری و همکاران (Jafari et al., 2018)، در مطالعه‌ای ضریب تبدیل گیاه پسته (*Pistacia vera*) و خرما (*Phoenix dactylifera*)

در ایران را به‌ترتیب ۱/۷۱×$۱۰^{۹}$ و ۱/۴۷×$۱۰^{۹}$ ام‌ژول خورشیدی در ژول گزارش دادند. در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی پایداری نظام کشاورزیِ تولید چرخشی ذرت- گندم با استفاده از تحلیل امرژی، مقدار Tr برای رسیدن به بالاترین وضعیت پایداری ۶/۰۵×$۱۰^{۴}$ ام‌ژول خورشیدی در ژول تخمین زده شد (Hu et al., 2010). در تحقیقی که در آمریکا انجام شد، Tr دو نظام چند کشتی سنتی و تولید ذرت مکانیزه به‌ترتیب ۲/۳۲×$۱۰^{۵}$ و ۹/۳۰×$۱۰^{۴}$ ام‌ژول خورشیدی در ژول محاسبه شد (Martin et al., 2006). در مطالعه‌ای میزان Tr گندم در مزارع با مقیاس بزرگ، در شمال چین ۱/۶۳×$۱۰^{۵}$ ام‌ژول خورشیدی در ژول گزارش شد (Wang et al., 2014). درحالی‌که میزان Tr محصول گندم در مزارع سنتی کشور دانمارک ۱/۳۲×$۱۰^{۵}$ ام‌ژول خورشیدی در ژول محاسبه گردید (Ghaley & Porter, 2013). همچنین ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2005) و کاوالت و اورتگا (Cavalett & Ortega, 2009) در مطالعه خود Tr در نظام‌های تولید سویا (*Glycine max* L.)، در چین و برزیل را به‌ترتیب ۸/۳۷×$۱۰^{۴}$ و ۱/۰۱×$۱۰^{۵}$ ام‌ژول خورشیدی در ژول بیان کردند.

جدول ۵- شاخص‌های مبتنی بر امرژی در نظام‌های مختلف تولید هیرمند

Table 5- Emergy-based indices of the different production systems of Hirmand

	Wheat گندم	**Onion پیاز**	**Garlic سیر**	**Fennel رازیانه**	**Cumin زیره سبز**	**Black seed سیاه‌دانه**
ضریب تبدیل (Tr) Transformity	9.27E+05	2.19E+06	3.41E+06	1.19E+06	9.82E+05	2.09E+06
درصد تجدیدپذیری امرژی (R) Emergy renewability(R)	3.6	10.6	12.0	16.9	8.3	5.9
نسبت عملکرد امرژی (EYR) Emergy yield ratio (EYR)	3.887	3.110	2.092	2.281	2.322	2.105
نسبت سرمایه گذاری امرژی (EIR) Emergy investment ratio (EIR)	8.040	4.553	10.486	3.031	9.066	11.637
نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) Standard environmental loading ratio (ELR)	30.250	13.161	20.940	5.913	20.048	23.497
نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (ELR*) Modified environmental loading ratio (ELR*)	26.797	8.433	7.343	4.929	11.097	15.925
شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) Emergy sustainability index (ESI)	0.128	0.236	0.100	0.386	0.116	0.090
شاخص پایداری محیط زیست اصلاح شده (ESI*) Modified environmental sustainability Index (ESI*)	0.145	0.369	0.285	0.463	0.209	0.132
کسر مبادله امرژی (EER) Emergy exchange ratio (EER)	110.1	320.9	743.8	2686.1	1926.9	402.2
شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS) Emergy index of agricultural product safety (EIPS)	0.992	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997

شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (R)

نسبت ورودی‌های تجدیدپذیر به امرژی کل، درصد تجدیدپذیری امرژی (R) گفته می‌شود (Zhang & Long, 2010). به‌طورکلی، در نظام‌های تولیدی هر چه استفاده از منابع (نهاده‌ها) محیطی تجدیدپذیر بیشتر باشد پایداری نظام تقویت می‌گردد. در بلندمدت، در یک نظام تولیدی جهت موفقیت در رقابت اقتصادی باید میزان کمتری از منابع تجدیدناپذیر نسبت به منابع تجدیدپذیر استفاده شود (Lefroy & Rydberg, 2003; Brown & Ulgiati, 2004). در مطالعه حاضر درصد تجدیدپذیری امرژی نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۳/۶، ۱۰/۶، ۱۲، ۱۶/۹، ۸/۳، ۵/۹ درصد محاسبه شد. بزرگ‌تر بودن R نظام رازیانه نسبت به سایر نظام‌های مورد به‌دلیل سهم زیاد استفاده از ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر و استفاده از کود آلی بود. در این پژوهش کمترین R در بین شش نظام زراعی مورد مطالعه، مربوط به نظام گندم بود که

گویای این واقعیت است که در این نظام درصد بالایی از امرژی مورداستفاده به منابع تجدیدناپذیر محیطی وابسته است. پایین بودن میزان R نظام گندم می‌تواند نشانی از ناپایداری این نظام باشد.

در مقایسه پایداری نظام تولید تجاری و معیشتی تولید کلزا در ایران R به‌ترتیب ۵/۳۰ و ۱۹/۹۰ محاسبه شد. تلفات بالای مواد آلی خاک از منبع تجدیدناپذیر، در اثر خاک‌ورزی و شیوه تولید در بوم‌نظام تجاری، عمده‌ترین دلیل کوچکی شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی در نظام تجاری معرفی گردید (Amiri et al., 2019). در مطالعه‌ای در چین مقدار R تولید برنج به‌شیوه سنتی و سبزیجات به‌روش فشرده به‌ترتیب ۵۲/۶۶ و ۱۲/۳۰ برآورد شد (Su et al., 2020). R برای لوبیا در ایران در نظام تولید اکولوژیک و نظام با مصرف بالای نهاده، به‌ترتیب ۵۳/۶۹ و ۳/۳۵ درصد گزارش شد (Asgharipour et al., 2019)؛ بنابراین گزارش تغییر در نوع مصرف نهاده‌های ورودی نظام از مصرف بالای نهاده‌های مرسوم و شیمیایی (با تجدیدپذیری پایین) به‌سمت مصرف نهاده‌هایی با منبع تجدیدپذیری بیشتر و اکولوژیک، R، ارتقاء در پایداری نظام‌ها گزارش شد.

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

نسبت عملکرد امرژی (EYR) شاخصی فراگیر در بیان توانایی نظام در بهره‌برداری از منابع محیطی است. این شاخص از تقسیم امرژی ورودی کل بر امرژی ورودی‌های خریداری شده به‌دست می‌آید. مقدار بالاتر این شاخص نمایانگر برگشت بیشتر امرژی به‌ازای امرژی سرمایه‌گذاری شده است (Chen et al., 2006; Odum, 1996). EYR توانایی یک نظام را در استفاده مؤثر از منابع محلی از طریق تمرکز بر منابع خریداری شده محاسبه می‌نماید (Martin et al., 2006; Agostinho et al., 2008). EYR بالاتر نشان‌دهنده وابستگی بیش‌تر نظام به منابع محیطی در مقایسه با منابع خریداری شده است. مقدار شاخص EYR نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه در تحقیق حاضر به‌ترتیب ۳/۸۸۷، ۳/۱۱۰، ۲/۰۹۲، ۲/۲۸۱، ۲/۳۲۲ و ۲/۱۰۵ بود. دلیل اصلی بزرگ‌تر بودن شاخص EYR در نظام‌های تولید گندم و پیاز سهم بیشتر ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی (به‌ترتیب ۷۱/۰۷ و ۶۰/۷۹ درصد از کل امرژی ورودی) نسبت به سایر نظام‌های مورد مطالعه بود (جدول ۴). سهم بیشتر ورودی امرژی از منبع جریان‌های رایگان تجدیدناپذیر در تولید گندم و پیاز به‌دلیل استفاده از روش‌های نامناسب خاک‌ورزی و تلفات مواد آلی و فرسایش خاک در طول دوره رشد گیاه بود.

در تعداد زیادی از ارزیابی‌های امرژی، شاخص EYR به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی گزارش گردیده است. امیری و همکاران (Amiri et al., 2019) میزان EYR را در نظام تولید تجاری و معیشتی کلزا ۲/۳۱ و ۱/۵۳ به‌دست آوردند. در پژوهشی اندازه EYR در نظام سنتی تولید برنج و سبزیجات به‌روش فشرده به‌ترتیب ۱/۴۵ و ۱/۰۵ اعلام شد (Su et al., 2020). در مطالعه‌ای در چین میزان EYR در مزرعه برنج و سبزیجات به‌ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۰۵ گزارش شد (Lu et al., 2010). در شمال چین میزان EYR در گیاه ذرت ۱/۲۰ گزارش گردید (Zhang et al., 2012). در محصولات باغی موز (*Musa sapientum*)، پاپایا (*Carica papaya*)، گواوا (*Psidium guajava*) و وامپی (*Clausena lansium*) میزان EYR به‌ترتیب ۱/۰۴، ۱/۱۶، ۱/۳۱ و ۱/۳۰ گزارش شده است (Lu et al., 2009).

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR) اطلاعاتی در مورد چگونگی کارآیی نظام در استفاده امرژی ناشی از سرمایه‌گذاری را نسبت به امرژی‌های رایگان محیطی ارائه می‌دهد (Odum 1996; Lan et al., 2002). EIR از نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های رایگان نظام به‌دست می‌آید. مقدار کمتر این شاخص نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نظام به منابع محیطی است (Wang et al., 2014). بیشترین مقدار شاخص EIR در تحقیق حاضر مربوط به‌نظام تولید سیاه‌دانه به‌میزان ۱۱/۶۳۷ و نظام تولید سیر به‌میزان ۱۰/۴۸۶ و کمترین آن مربوط به نظام تولید رازیانه به‌میزان ۴/۹۲۹ بود. جریان امرژی ورودی کود شیمیایی نیتروژن (۳۴/۰۵ درصد از کل امرژی‌های ورودی) در نظام تولید سیاه‌دانه و جریان ورودی بذر (۲۹/۰۶ درصد از کل امرژی‌های ورودی) در نظام تولید سیر دلیل بالا بودن مقدار شاخص EIR این دو نظام نسبت به سایر نظام‌های مورد بررسی در این تحقیق بود (جدول ۴). استفاده از بذور با کیفیت، حفظ تعادل عناصر غذایی ضروری، کنترل علف هرز، مصرف بهینه آب، شخم حفاظتی، استفاده از کود آلی در نظام تولید سیاه‌دانه و همچنین انجام اصلاح ژنتیکی در نظام تولید سیر برای تأمین بذر می‌تواند در آینده، کاهش جریان امرژی ورودی از منبع نهاده‌های خریداری شده را به این نظام‌ها در پی داشته باشد. کاهش ورودی کود شیمیایی نیتروژن در نظام تولید سیاه‌دانه و کاهش ورودی بذر در نظام تولید سیر، EIR

این نظام‌ها را از طریق کاهش جریان ورودی خریداری شده، بهبود خواهد بخشید و از لحاظ اقتصادی نیز نیاز سرمایه‌گذاری اولیه جهت تولید زراعی سیر، کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه میزان کمتر شاخص EIR باشد وابستگی بیشتر نظام به منابع محیطی را نشان می‌دهد، می‌توان دلیل پایین بودن شاخص EIR در نظام تولید رازیانه را سهم بالای امرژی نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (۱۴/۴۷ درصد از کل امرژی‌های ورودی) دانست.

در مطالعه‌ای وضعیت پایداری منطقه جنگلی مرتعی هوان جیانگ چین، روند تغییرات EIR را طی ۱۶ سال افزایشی گزارش شد. به‌صورتی که مقدار این شاخص در سال ۲۰۰۰، ۰/۱۲ و در سال ۲۰۱۵، ۰/۷۱ محاسبه شد (Zhan et al., 2020). EIR برای نظام‌های تولید کلزا در واحدهای تجاری و سنتی به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۱/۸۶ و مقادیر به‌دست‌آمده *EIR در نظام تجاری و سنتی به‌ترتیب ۹/۰۰ و ۸/۹۴ بود (Amiri et al., 2019). در مطالعه‌ای دیگر برای مقایسه سه‌نظام تولید محصولات زراعی، مرغ و ماهی بیان شد که EIR در این سه‌نظام به‌ترتیب ۳/۹۸، ۴/۶۳ و ۵/۸۷ بود که حاکی از پایین بودن EIR در نظام‌های زراعی در مقایسه با نظام‌های غیر زراعی دام و شیلات است (Cheng et al., 2017). در تحقیقی روی نظام‌های تولید سویا در برزیل میزان EIR را ۱/۲۵ محاسبه شد (Cavalett & Ortega, 2009).

نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح‌شده (ELR*)

شاخص‌های نسبت بار محیطی زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح‌شده (ELR*) بیانگر فشار تحمیل‌شده از سوی نظام مورد مطالعه به محیط زیست است. ELR از طریق محاسبه نسبت ورودی‌های امرژی تجدیدناپذیر محیطی و ورودی‌های خریداری شده بر نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر و ELR* از نسبت ورودی منابع تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر محاسبه می‌گردد (Ortega et al., 2002). نسبت بالای این دو شاخص، به‌معنای اعمال فشار بالا بر محیط زیست است. مقادیر ELR در مطالعه حاضر برای نظام تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۳۰/۲۵۰، ۱۳/۱۶۱، ۲۰/۹۴۰، ۵/۹۱۳، ۲۰/۰۴۸ و ۲۳/۴۹۷ محاسبه شد. همچنین ELR* برای نظام تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۲۶/۸۰، ۸/۴۳، ۷/۳۴، ۴/۹۳، ۱۱/۱۰ و ۱۵/۹۳ بود. بر اساس مقادیر ELR و ELR* محاسبه شده در این مطالعه، فشار وارده بر محیط زیست از طرف نظام‌های رازیانه و گندم به‌ترتیب کمترین و بیشترین بود. در تولید رازیانه به‌دلیل بهره‌مندی بیشتر از نهاده‌های رایگان محیطی (R) و کاربرد کود آلی فشار بر محیط زیست کمتر بود. همچنین نظام تولید گندم به‌دلیل استفاده از منابع رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N) شامل فرسایش و تلفات ماده آلی خاک و استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر بیشترین فشار را بر محیط زیست اعمال کرد.

در بررسی سایت‌های تولید کلزا در ایران، مقادیر ELR و ELR* به‌ترتیب در نظام تجاری ۱۹/۷۵ و ۱۷/۸۵ و در نظام معیشتی تولید کلزا ۱۲/۶۸ و ۴/۰۰ محاسبه و بر مبنای دو شاخص ELR و ELR*، نظام تجاری ناپایدار معرفی شد (Amiri et al., 2019). جیانتی و همکاران (Giannetti et al., 2011) گزارش دادند که ELR، تولید قهوه در برزیل، در بوم‌نظام تجاری ۲/۸۹ و در مناطق محافظت شده تولید این محصول بین ۰/۳۹ الی ۲/۰۶ است. آن‌ها بیان کردند که نظام تجاری تولید قهوه مورد مطالعه دارای پایداری کم و نظام‌های مناطق حفاظت‌شده در میان‌مدت و بلندمدت پایدار خواهند بود. ELR در تحقیقی روی تولید ذرت در شمال چین، ۱۰/۶۲ گزارش شد (Zhang et al., 2005). با مقایسه ELR*، پایداری سه نظام تولید لوتوس خالص، لوتوس- میگو و لوتوس- ماهی بررسی و مقادیر ELR* این نظام‌ها به‌ترتیب ۲/۳، ۲/۸ و ۲/۴ به‌دست آمد. نظام تولید لوتوس خالص، نسبت به دو نظام دیگر، پایدارتر شناخته شد. در مطالعه‌ای دیگر فشار وارد آمده بر محیط زیست توسط مزرعه‌ای که با مدیریت متداول اداره شد، ۵/۶۸ برابر بیشتر از مزرعه اکولوژیک بود (Agostinho et al., 2008).

شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و نسخه اصلاح شده (ESI*)

به‌طورکلی دو شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI*) در جستجوی فرآیندی است که ضمن بهره‌مندی حداکثری از ورودی‌های رایگان محیطی توأم با حداقل فشار وارده بر محیط زیست باشد (Odum, 1996). این دو شاخص، بیانی از میزان اقتصادی بودن فرآیند تولیدی، ضمن بیان پایداری زیستی نظام می‌باشند. هر چه نسبت ورودی‌های محیطی رایگان (R و N) به ورودی‌های خریداری شده (F_N و F_R) بیشتر باشد، موجب افزایش

شاخص پایداری محیط زیست خواهد شد (Ulgiati & Brown, 1998). مقدار ESI کمتر از واحد حاکی از فشار بالا، بر محیط زیست است. به‌طور کلی، هر چه نظام تولیدی فشرده‌تر باشد فشار بر محیط زیست بیشتر است (Ulgiati & Brown, 1998). در مطالعه حاضر، ESI برای نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۰/۱۲۸، ۰/۲۳۶، ۰/۱۰۰، ۰/۳۸۶، ۰/۱۱۶ و ۰/۰۹۰ محاسبه شد. همچنین مقادیر *ESI برای نظام‌های تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۰/۱۴۵، ۰/۳۶۹، ۰/۲۸۵، ۰/۴۶۳، ۰/۲۰۹، ۰/۱۳۲ بود. مقادیر *ESI تا حدودی پایداری بیشتری را در نظام‌های مورد مطالعه نسبت به مقادیر ESI نشان داد. با توجه به اینکه در محاسبه ESI و *ESI، شاخص‌های EYR، ELR و *ELR دخالت دارند، لذا میزان فاصله بین مقادیر شاخص ESIها از مقادیر نسخه اصلاح شده *ESI شش نظام مورد مطالعه، به‌دلیل تفاوت بین مقادیر ELR و *ELR بود.

بالا بودن میزان شاخص ESI در نظام تولید رازیانه را می‌توان به سهم بالای ورودی رایگان محیطی تجدیدپذیر (R) و تخصیص میزان زیادی از ورودی‌های خریداری شده در این نظام، نسبت داد. با توجه به رابطه محاسبه ESI و *ESI، میزان بالاتر این شاخص‌ها نه‌تنها از طریق کاهش ورودی‌های خریداری شده فراهم می‌شود، بلکه میزان بیشتر ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی نیز منجر به بالا رفتن این نسبت و بزرگی شاخص‌های ESI و *ESI می‌گردد. با توجه به اینکه هر شش نظام مورد بررسی در این تحقیق میزان ESI آن‌ها کمتر از یک شده است بنابراین، تمام نظام‌های تحت بررسی از پایداری مطلوبی برخوردار نیستند. با به حداقل رساندن ورودی‌های خریداری شده ضمن افزایش جریان ورودی‌های رایگان محیطی به‌ویژه از منبع تجدیدپذیر می‌توان باعث بهبود شاخص ESI شد.

در بررسی پایداری تولید لوبیا، ESI بین ۰/۰۸-۰/۰۳ گزارش شد. در همین تحقیق مقادیر *ESI، ۱/۴۸ -۰/۰۴ محاسبه شد و بر اساس *ESI وضعیت پایداری نظام تولید اکولوژیک لوبیا از ناپایدار به نیمه‌پایدار سوق پیدا کرد (Asgharipour et al., 2019). در مقایسه نظام تجاری و معیشتی تولید کلزا، مقادیر ESI به‌ترتیب ۰/۱۱۷ و ۰/۱۲۱ و *ESI، به‌ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۳۸ و ناپایدار گزارش گردید (Amiri et al., 2019). در مطالعه بررسی پایداری نظام‌های مختلف کشاورزی شهر تانگ جیانگ چین، بیشترین مقدار ESI مربوط به نظام برنج- ماهی و به‌مقدار ۱/۷۰ بود (Su et al., 2020). مقادیر شاخص پایداری محیط در مزرعه ذرت با مدیریت کم نهاده در چین ۰/۴۵ (Zhang et al., 2012)، برای چهار میوه موز، پاپایا، وامپی و گواوا در چین کمتر از ۰/۴۰ (Lu et al., 2009)، برای مزرعه ۱۱ هکتاری گندم و مزرعه ۱۰ هکتاری چند کشتی شامل: جو، شبدر، گندم و نوعی علوفه چمنی (ریگراس) بین ۰/۰۳ تا ۰/۳۰ و برای چندگونه درخت، در دانمارک به‌میزان ۰/۱۵ گزارش گردید (Ghaley & Porter, 2013).

کسر مبادله امرژی (EER)

کسر مبادله امرژی محصول (EER) شاخصی دومنظوره برای ارزیابی‌های امرژی و اقتصادی است (Odum, 1996). EER کسر مبادله امرژی بر اساس عملکرد محصول در واحد سطح است و منافع امرژی حاصل از فروش محصول را تحلیل می‌کند. به‌عبارت دیگر، EER به ارزیابی تعادل بین خروجی اقتصادی مبادله شده با پول در بازار (Y_M) (به‌صورت امرژول در واحد سطح) و کل امرژی ورودی نظام (U) می‌پردازد. در تحقیق حاضر در تمام نظام‌های مطالعه نرخ مبادله ارزش محصول در بازار بیشتر از امرژی ورودی به نظام بود. این مقادیر EER، مطلوب و نشان‌دهنده قدرت بیشتر خرید امرژی پول به‌عنوان مبدل کالای نظام (محصول تولیدی) در بازار در مقایسه با جریان امرژی ورودی به نظام است. بر مبنای مقادیر EER بیشترین نفع برای تولیدکننده در نظام تولید رازیانه و پایین‌ترین منفعت در نظام تولید گندم مشاهده شد. دلیل بزرگی قابل توجه مقادیر EER در نظام‌های این مطالعه تأمین بخش زیادی از نهاده‌ها از درون نظام در کنار قیمت مناسب محصول تولیدی بود. حفظ مطلوبیت EER و دوام پایداری بوم‌نظام‌ها، عمدتاً بستگی به حفظ مخزن منابع تجدیدناپذیر دارد. تخلیه بیشتر این منابع خطر ناپایدار نمودن نظام را در پی دارد.

در تحلیل امرژی و اقتصادی یک نظام EES[1] در چین توسط لو و همکاران (Lu et al., 2020) و فرآوری هفت مرحله‌ای گیاه مهاجمِ *Spartina alterniflora* مجموع EER نظام، ۲۶/۰۶ برآورد شد. مطالعات لو و همکاران (Lu et al., 2017, 2009) مقادیر EER نظام‌های تولید: لوتوس، لوتوس- میگو، لوتوس- ماهی، موز، پاپایا، وامپی و گواوا به‌ترتیب: ۲/۶، ۲/۵، ۴/۲، ۲/۵، ۱/۸، ۳/۶، ۱/۹ را نشان دادند که همگی بیان‌کننده EER مطلوب می‌باشند.

1- Ecological engineering system

شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS)

شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS) امنیت محصولات را از نظر ورودی کودهای شیمیایی و علف‌کش ارزیابی می‌کند. هر چه EIPS بالاتر باشد، امنیت و سلامت محصولات تولیدی بیشتر است (Xi & Qin, 2009). معادله محاسبه این شاخص در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر به‌دست آمده EIPS برای نظام‌های گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۰/۹۹۲، ۱/۰۰۰، ۱/۰۰۰، ۱/۰۰۰، ۱/۰۰۰ و ۰/۹۹۷ بود. بر پایه این شاخص سلامت نظام تولید پیاز، سیر، رازیانه و زیره سبز با هم برابر و سلامت محصول تولیدی نظام گندم از پنج نظام دیگر کمتر است. ازآنجایی‌که ورودی کود شیمیایی و علف‌کش مهم‌ترین عامل در شاخص EIPS است، پایین بودن شاخصEIPS در نظام تولید گندم را می‌توان ناشی از بالا بودن سهم ورودی کود نیتروژن (۱۴/۲۵ درصد از کل امرژی ورودی) و علف‌کش (۰/۱۹ درصد از کل امرژی ورودی) در این نظام دانست. EIPS در سه مدل کشاورزی شامل پرورش غاز- کشت ذرت، کشت سنتی ذرت، تناوب گندم- نخود (*Cicer arietinum*) به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۱ و ۰/۹۴ گزارش شد (Guan et al., 2016). همچنین در مطالعه شا و همکاران (Sha et al., 2015)، EIPS برای دو نظام تولیدی پرورش غاز- کشت ذرت و کشت سنتی ذرت به‌ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۷۰ محاسبه شد. در مقایسه دو نظام تولید اردک- برنج و تناوب کشت سنتی گندم- برنج مقدار EIPS به‌ترتیب ۱/۰۰ و ۰/۳۴ گزارش شد (Xi & Qin, 2009).

تحلیل اقتصادی

مجموع هزینه‌های انجام شده برای یک هکتار گندم ۲/۰۲ میلیون تومان بوده و ارزش ناخالص تولید به‌دست‌آمده برابر با ۵/۵۶ میلیون تومان برای هر هکتار گندم محاسبه شد. درنتیجه، سودی معادل ۳/۵۴ میلیون تومان برای هر هکتار گندم به‌دست آمد. نسبت سود به هزینه و بهره‌وری برای هر هکتار گندم نیز به‌ترتیب برابر با ۱/۷۵ و ۲/۷۵ به‌دست آمد. در نظام‌های کشت پیاز و سیر هزینه‌های تولید به‌ترتیب معادل ۱۱/۸۹ و ۲۹/۲۶ میلیون تومان در هکتار بود و ارزش ناخالص تولید برای هر هکتار پیاز و سیر ۵۲/۰ و ۸۵/۵ میلیون تومان به‌دست آمد؛ بنابراین، کشت هر هکتار پیاز و سیر به‌ترتیب ۴۰/۱۱ و ۵۶/۲۴ میلیون تومان سود عاید کشاورزان کرد. نسبت سود به هزینه و بهره‌وری برای پیاز به‌ترتیب ۳/۳۷ و ۱۰/۶۳ و برای سیر به‌ترتیب ۱/۹۲ و ۷/۱۸ محاسبه شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده هزینه‌های تولید برای رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۴/۱۵، ۳/۰۰ و ۲/۹۱ به‌دست آمد. درآمد ناخالص حاصل از هکتار رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۶۵/۶، ۵۸/۵ و ۲۱/۵ میلیون تومان بود؛ بنابراین، سود تولید برای رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه به‌ترتیب ۶۱/۴۵، ۵۵/۵ و ۱۸/۵۹ محاسبه شد.

با توجه به این مطالب می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نظام کشت و تولید گندم با وجود اینکه نسبت به سایر نظام‌های مطالعه هزینه کمتری برای کشاورزان دارد، ولی به‌دلیل سود کم از لحاظ اقتصادی برای کشاورزان مقرون به صرفه نیست. در تولید پیاز و سیر با وجود قیمت بالای فروش محصول، به‌دلیل هزینه‌های زیاد، تولید کارآیی لازم را نداشته و افزایش هزینه‌ها بر افزایش فروش محصول پیشی گرفته و سبب بهره‌وری و نسبت سود به هزینه پایین‌تر آن‌ها شده است. در مقابل، در تولید گیاهان دارویی به‌خصوص رازیانه و زیره سبز به‌دلیل اینکه نسبت به پیاز و سیر از نهاده‌های کمتری استفاده می‌شود، دارای مطلوب‌ترین سود خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری بودند.

نتیجه‌گیری

جهت تأمین امنیت غذایی آینده، معرفی نظام‌های کشاورزی پایدار که ضمن ارائه تولیدات کشاورزی کافی و سالم، بازده اقتصادی مناسب و حداقل تأثیرات منفی زیست‌محیطی را داشته باشد یک ضرورت است. بوم‌نظام‌های کشاورزی به‌دلیل ساختار و کارکردهای متعدد، به‌عنوان نظام‌های زیستی پیچیده تلقی می‌شوند. از این رو، تعیین میزان پایداری نظام‌های کشاورزی جهت شناسایی الگوهای مناسب تولید، نیازمند روشی جامع و علمی است. تحلیل امرژی دارای قابلیت سنجش اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی، کیفیت محصول و حتی ارزیابی اجتماعی نظام‌های مختلف است. این مطالعه در راستای شناسایی، معرفی و ترویج الگویی جدید از تولید با جستجو در میان الگوهای موجود است که ضمن ملاحظات و خدمات زیست‌محیطی و تولید محصول باکیفیت و سالم، دارای حداکثر سود اقتصادی نیز باشد.

جدول ٦- تحلیل اقتصادی نظام‌های تولید پیاز، سیر، زیره، سیاه‌دانه، رازیانه و گندم هیرمند

Table 6- Economic analysis of onion, garlic, cumin, black seed, fennel and wheat production systems of Hirmand

اجزای هزینه و سود Economic components	گندم Wheat	پیاز onion	سیر Garlic	رازیانه Fennel	زیره سبز Cumin	سیاه‌دانه Black seed
هزینه کل Total cost (million Tomans.ha^{-1})	2.02	11.89	29.26	4.15	3.00	2.91
درآمد ناخالص Gross income (million Tomans.ha^{-1})	5.56	52	85.5	65.6	58.5	21.5
سود Net income (million Tomans)	3.54	40.11	56.24	61.45	55.50	18.59
نسبت سود به هزینه Profit to cost ratio	1.75	3.37	1.92	14.81	18.50	6.39
بهره‌وری Productivity (kg.Toman^{-1})	2.75	10.63	7.18	14.22	13.47	7.2

این مطالعه با هدف تحلیل امرژی و اقتصادی شش نظـام تولیـد گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانـه در شهرسـتان هیرمنـد انجام شد. با محاسبه شاخص‌های امرژی به مقایسه و تحلیـل شـش نظام مذکور پرداخته شد. ماهیت شاخص‌های انتخابی متفاوت و دارای قابلیت سنجش ابعاد اکولوژیکی، اقتصـادی و بـازاری و انـدازه‌گیـری کیفیت محصول هستند. در مقایسه شش نظام مختلف مورد بررسـی، شاخص‌ها دارای روندهای مختلف هستند که حاکی از وضعیت مزیت یا چالش ایجاد شده توسط هر نظام بر حسب ماهیت شاخص مربوطه است.

بر پایه شاخص Tr تولیـد سـیر و پیـاز بـه‌دلیـل تولیـد کمتـرین محصول به‌ازای امرژی مصرفی ناکارآمدترین محصـولات محسـوب شدند. R در نظام تولید رازیانه بیشتر از سایر نظام‌های مـورد بررسـی بود. استفاده از جریان‌های محیطی تجدیدپـذیر و مصـرف کـود آلـی موجب بزرگی R شد. کمترین R مربوط به نظام تولید گندم بـه‌دلیـل سهم پایین ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (انرژی جنبشـی بـاد) در این نظام بود، با توجه به قرار گرفتن دوره رویش و برداشت گنـدم در سیستان با شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک، این گیاه قبـل از شـروع بادهای موسمی منطقه سیستان برداشت می‌گـردد کـه خـود موجـب گردیده تا از منابع محیطی تجدیدپذیر به‌میزان کمتری بهره‌مند شود. مقادیر EIR و *EIR در این مطالعه با بیشترین مقدار برای نظام تولید سیاه‌دانه و سیر و کمترین میزان برای نظام تولید رازیانه همراه بود، در نظام تولید سیاه‌دانه کود شیمیایی نیتروژن و در نظام تولید سیر جریان ورودی بذر علت این امر بود. در نظام تولید سیاه‌دانه جهت کم کردن جریان ورودی کود نیتروژن می‌توان اسـتفاده از بـذور باکیفیـت و بـا تراکم بالا، حفظ تعادل عناصر غذایی، رعایت تناوب زراعی و استفاده از کود آلی و در نظام تولید سیر استفاده از روش‌های اصلاح ژنتیکـی برای تأمین بذر مزارع را می‌توان پیشنهاد داد. مقدار EER بـه‌عنـوان تعبیرکننده جریان امرژی در بازار و نمایی از بازده اقتصادی نظام، بـه برتری نظام تولید رازیانه نسبت به پنج نظام تولیـدی دیگـر (بـه‌نفـع تولیدکننده) اشاره دارد. مقادیر مربوط به این شاخص برای هـر شـش نظام مورد بررسی از وضعیت نامطلوبی برخوردار بود. کـاهش امـرژی ورودی‌های نظام باعث افزایش مقدار این شاخص می‌شـود، افـزایش میزان تولید در واحد سطح و همچنین قیمت بیشتر محصول در بازار، نیز موجب ارتقای مقدار شاخص EER و منجر به پایداری بیشتر تولید خواهد شد. بر مبنای شاخص EIPS، سلامت محصول تولیدی نظـام رازیانه، پیاز، سیر و زیره سبز باهم برابـر بـود. ایـن سـطح از کیفیـت محصـول از طریـق پـایش، حمایـت، فرصـت بـازاری بهتـر، ارائـه مشوق‌های مالی، ترویج و رتبه‌بندی محصولات کشـاورزی از سـوی متولیانی مانند سازمان غذا و دارو جهـت قیمـت‌گـذاری متناسـب بـا سلامت محصول مناسب خواهد بود.

یکی از عوامل مهم پایداری نظام‌های کشاورزی ارتقـای مؤلفـه-های اقتصادی و زیست‌محیطی است؛ به‌طوری‌که منافع حاصل از آن برای کشاورزان و مصرف‌کنندگان باشد. در عین حـال، لازم اسـت از ظرفیت‌های بالفعل و بالقوه عوامل تسریع‌کننده پایداری استفاده شود؛ بنابراین، با توجه به توان و ظرفیت‌های محیطی برنامه‌ریـزی توسـعه برای پایداری نظام‌های کشاورزی باید صورت گیـرد. نتـایج تحلیـل امرژی نشان داد، نظام‌های رازیانه و زیره سبز از وضعیت مطلوب‌تری در جهت دستیابی به پایداری برخوردار است، در کلیـه شـاخص‌هـای

محاسبه شده، نظام تولید رازیانه و زیره سبز در وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر محصولات قرار داشت. در همین راستا، تحلیل اقتصادی نتایج حاکی از آن بود که بالاترین میزان سود در بین نظام‌ها مربوط به نظام تولید گیاهان دارویی به‌خصوص رازیانه و زیره سبز بوده، ولی با توجه به هزینه‌های بالای نظام تولید سیر و پیاز، این نظام نسبت به نظام تولید رازیانه و زیره سبز از بهره‌وری پایین‌تری برخوردار بود. با توجه به اینکه هدف یک نظام کشاورزی حداکثر کردن سود و حداقل کردن هزینه‌ها می‌باشد؛ مشاهده شد که بهره‌وری نظام رازیانه و زیره سبز به‌طور قابل‌توجهی نسبت به سایر نظام‌های مورد مطالعه بالاتر بود. از این رو، با توجه به اینکه نظام تولید رازیانه و زیره سبز از لحاظ امرژی و اقتصادی در سطح قابل قبولی می‌باشد، لذا ترکیب نتایج دو روش مورد بررسی گویای برتری این نظام‌ها نسبت به سایر نظام‌های بررسی شده بود. در نهایت، با توجه به عدم ارائه مبنای دقیق برای بسیاری از ضرایب تبدیل مورد استفاده نتایج تحلیل امرژی قطعیت ندارد و این موضوع باید در تفسیر نتایج در نظر گرفته شود.

سپاسگزاری:

این مقاله با حمایت های مالی دانشگاه زابل با کد اجرا گردید. IR-UOZ-GR-9641 پژوهانه

References

Abbona, E.A., Sarand, S.J., Maracas, M.E., and Astier, M., 2007. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso. Agriculture, Ecosystems and Environment 119: 335-345.

Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R., and Ortega, E., 2008. The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. Ecological Modelling 210: 37-57.

Alfaro-Arguello, R., Diemont, S.A., Ferguson, B.G., Martin, J.F., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, J.D., and Ruíz, R.P., 2010. Steps toward sustainable ranching: An emergy evaluation of conventional and holistic management in Chiapas, Mexico. Agricultural Systems 103(9): 639-646.

Amiri, A., Zare Mehrjerdi, Y., Jalalimanesh, A., and Sadegheih, A., 2020 a. A System Dynamics Analysis of Factors Affecting the Sustainability of Wheat Production System. Journal of Production and Operations Management 11(2): 1-26.

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., and Armin, M., 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. Journal of Cleaner Production 226: 1051-1066.

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., and Sabaghi, M.A., 2020 b. Comparison of the sustainability of mechanized and traditional rapeseed production systems using an emergy-based production function: A case study in Lorestan Province, Iran. Journal of Cleaner Production 258: 120891.

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, K., Kakolvand, E., and Hassani Moghadam, E., 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. Journal of Cleaner Production 292: 1-19.

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, K., Kakolvand, E., and Moghadam, E.H., 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. Journal of Cleaner Production 292: 126000.

Asgharipour, M.R., Amiri, Z., and Campbell, D.E., 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. Ecological Modelling 424: 1-17.

Asgharipour, M.R., Mondani, F., and Riahinia, S., 2012. Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province. Energy 44: 1078-1084.

Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I., and Ghadiri, A., 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. Environmental Monitoring and Assessment 191: 2-12.

Brandt-Williams, S.L., 2002. Handbook of emergy evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of Folios. Center for Environmental Policy Environmental Engineering Science. University of Floriga, Gainesville.

Brown, M.T., and Ulgiati, S., 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. Ecological Engineering 9(1-2): 51-69.

Brown, M.T., and Ulgiati, S., 2004. Emergy analysis and environmental accounting. Waste to Energy Technologies and Solutions 2: 329-354.

Buenfil, A.A., 2001. Emergy Evaluation of Water. Ph.D. Dissertation, University of Florida, UMI Dissertation Services, Ann Arbor, MI.

Campbell, D.E., and Erban, L.E. 2017. A reexamination of the emergy input to a system from the wind. Emergy Synthesis 9: 13-20.

Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L., and Meisch, M.E.A., 2005. Environmental Accounting Using Emergy, Evaluation of the State of West Virginia. First Edition, USA: Washington, Office of Research and Development, 116 p.

Cavalett, O., and Ortega, E., 2009. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. Journal of Cleaner Production 17: 762-771.

Chen, B., Chen, Z.M., Zhou, Y., Zhou, J.B., and Chen, G.Q., 2009. Emergy as embodied energy based assessment for local sustainability of a constructed wetland in Beijing. Communications in Nonlinear Science and Numerical 14: 622-635.

Chen, G.Q., Jiang, M.M., Chen, B., Yang, Z.F., and Lin, C., 2006. Emergy analysis of Chinese agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 115: 161-173.

Cheng, H., Chen, C., Wu, S., Mirza, Z.A. and Liu, Z.. 2017. Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. Journal of Cleaner Production 144: 559-571.

Cheng, H., Chen, C., Wu, S., Mirza, Z.A., and Liu, Z., 2017. Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. Journal of Cleaner Production 144: 559-571.

Copeland, J.P., McKelvey, K.S., Landa, A., and Aubry, K.B., 2010. The bioclimatic envelope of the wolverine (*Gulogulo*): Do climatic constraints limit its geographic distribution?. Canadian Journal of Zoology 88(3): 233-246.

Fan, J., Mc Conkey, B.G., Janzen, H.H., and Miller, P.R., 2018. Emergy and energy analysis as an integrative indicator of sustainability: A case study in semi-arid Canadian farmlands. Journal of Cleaner Production 172: 428-437.

Ghaley, B.B., and Porter, J.R., 2013. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (*Triticum aestivum*) production system. Ecological Indicators 24: 534-542.

Giannetti, B.F., Ogura, Y., Bonilla, S.H., and Almeida, C.M.V.B., 2011. Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. Agricultural Systems 104: 679-688.

Guan, F., Sha, Z.H., Zhang, Y., Wang, J., and Wang, C.H., 2016. Emergy assessment of three home courtyard agriculture production systems in Tibet Autonomous Region, China, Journal of Zhejiang University. (Biomedicine and Biotechnology) 17(8): 628-639.

Hashemi Bani, O., Salehi, M.H., and Beigi Harchegani, H., 2009. Estimation of soil organic matter by ignition in four important plains of Chaharmahal and Bakhtiari province. Agricultural Science and Technology and Natural Resources. Soil and Water Sciences 13(50): 77-89.

Haynes, R.J., and Naidu, R., 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51: 123-137

Hosseinzadeh, A., 1997. 120-day winds. Geographical Research Quarterly. No. 46. Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Hu, S., Mo, X., Lin, Z., and Qiu, J., 2010. Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the north China plain. Environmental Management 46: 643-657.

Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, M., and Hadarbadi, G., 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. Journal of Cleaner Production 193: 642–651.

Lan, S.F., Qin, P., and Lu, H.F., 2002. Emergy Assessment of Ecological Systems. Chemical Industry Press Beijing China 76: 406-412.

Lefroy, E., and Rydberg, T., 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. Ecological

Modelling 161: 195-211.
Lu, H.F., and Campbell, D.E., 2009. Ecological and economic dynamics of the Shunde agricultural system under China's small city development strategy. Journal of Environmental Management 90: 2589-2600.
Lu, H.F., Bai, Y., Ren, H., and Campbell, D.E., 2010. Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. Journal of Environmental Management 91: 2727-2735
Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.S., Qiao, Y.C., Campbell, D.E., Zhou, L., and Ren, H., 2017. Integrated emergy and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary. Journal of Cleaner Production 158: 367-379
Martin, J.F., Diemont, S.A.W., Powell, E., Stanton, M., and Levy-Tacher, S., 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. Agriculture, Ecosystems and Environment 115: 128-140.
Ministry of Agriculture and Jihad of the I.R. of Iran (MAJ). 2018. Portal of Iranian agriculture, http://www.maj.ir/english/Main/Default.asp.
Mohammadi, S., Karimzadeh, H., and Alizadeh, M., 2018. Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. Iranian Journal of Ecohydrology 5(2): 551-569. (In Persian with English Summary)
Negaresh, H., Khosravi, M., 2000. Agricultural climate study of Sistan and Baluchestan province. Vice Chancellor for Research, Sistan and Baluchestan University. Zahedan, Iran. (In Persian with English Summary)
Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. Wiley, New York. pp. 379.
Odum, H.T., 2000. Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Environmental Engineering Sciences, University of Florida. Gainesville, Florida.pp. 28.
Odum, H.T., 2007. Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century. The Hierarchy of Energy. Columbia University Press, New York. pp. 434.
Ortega, E., Anami, M.H., and Diniz, G., 2002. Certification of food products using emergy analysis. In: Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies. Florida, USA. Citeseer, pp. 227-237.Pelliciardi, V., Varvaro, L., and Maria Pulselli, F., 2014. Emergy evaluation of a traditional farming system. Case study: Leh District (Ladakh - Indian Trans-Himalaya). European Journal of Sustainable Development Research 3-4: 1-16.
Perez, M.A.P., 2007. International Trade in Colombia: Look from the Ecological Economy. Ph.D. Dessertation. Program a Editorial Universidad del Valle. Published by Lemoine.
Quintero-Angel, M., and Gonzalez-Acevedo, A., 2018. Tendencies and challenges for the assessment of agricultural sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment 254: 273-281
Salari Sardi, F., and Kiyani, A.F. 2009. Investigation of the effect of climate on the stability of the physical environment of Zabol city, Conference on Geography and Sustainable Urban Development, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Iran. (In Persian with English Summary)
Sha, Z.H., Guan, F., Wang, J., Zhang, Y., Liu, H., and Wang, C.H., 2015. Evaluation of raising geese in cornfields based on emergy analysis: A case study in southeastern Tibet. China Ecological Engineering 84: 485-491.
Sistan and Baluchestan Province Statistical Yearbook, 1397 (Iranian Year book) [2018-2019], 2016. Publisher: Statistical Centre of Iran, p. 610. (In Persian)
Solouki, H.R., Khamecheian, M., Hafezi Moghaddas, N., and Alavipanah, S.K., 2009. Investigation of wind erosion in Sistan plain and its effect on soil engineering properties. Journal of Iranian Geological Engineering Association 2(3 and 4): 13-26. (In Persian with English Summary)
Su, Y., He, S.H., Wang, K., Shahtahmassebi, A.R., Zhang, L., Zhang, J., Zhang, M., and Gan, M., 2020. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: An emergy analysis with the integration of environmental. Journal of Cleaner Production 252: 30-58.
Ulgiati, S., and Brown, M.T., 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. Ecological Modelling 108(1-3): 23-36.
Ulgiati, S., Odum, H.T., and Bastianoni, S., 1994. Emergy use environmental loading and sustainability. An emergy analysis of Italy. Ecological Modelling 73(3-4): 215-268.
USDA (The United States Department of Agriculture) Natural Resources Conservation Services. 2003. Managing soil organic matter. Technical Note No. 5. Available at: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_ DOCUMENTS

/nrcs142p2_050965.df.

Vassallo, P., Riley, S., Beiso, I., Ridolfi, R., and Fabiano, M., 2007. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. Ecological Indicators 7(2): 290–298.

Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Zhang, J., Xia, and Wu, B., 2014. Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. Agricultural Systems 128: 66-78.

Xi, Y.G., and Qin, P., 2009. Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. Ecological Engineering 11: 1677-1683.

Yamane, T., 1967. Elementary Sampling theory. Englewood CliKs. Prentice-Hall, NJ, USA. pp. 405.

Yasini, H., Ghanbari, S., Asgharipour, M., and Seyedabadi, E., 2020. Evaluation of sustainability in wheat, onion and garlic cropping systems by joint use of emergy and economic accounting. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 30(2): 269-288. (In Persian with English Summary)

Zhang, D.Y., Ling, F.L., Zhang, L.F., Yang, S.Q., Liu, X.T., and Gao, W.S., 2005. Emergy analysis of planting system at Gongzhuling County in the main grain production region in Northeast China Plain. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 21(6):12-17

Zhang, G., and Long, W., 2010. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. Energy Policy 29: 4111-4129.

Zhang, L.X., Song, B., and Chen, B., 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: Insight into agricultural diversification in rural China. Journal of Cleaner Production 28: 33-44.

Zhang, L.X., Ulgiati, S., Yang, Z.F., and Chen, B., 2011. Emergy evaluation and economic analysis of three wetland fish farming systems in Nansi Lake area, China. Journal of Environmental Management 92: 683-694.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.3, Fall 2021, p. 539-561

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۵۶۱-۵۳۹

Sustainability Assessment of Six Crop Production Systems based on Emergy and Economic Analysis in Hirmand City

Somayeh Mirshekari[1], Mehdi Dehmardeh[2] *, MohammadReza Asgharipour[3], Ahmad Ghanbari[3] and Esmaeel Seyed Abadi[4]

Submitted: 20-03-2021
Accepted: 12-06-2021

Mirshekari, S., Dehmardeh, M., Asgharipour, M.R., Ghanbari, A. and Seyed Abadi, E., 2021. Sustainability assessment of six crop production systems based on emergy and economic analysis in Hirmand city. Journal of Agroecology 13(3):539-561.

Introduction

Natural scientists and agricultural experts are aimed to provide the right methods of ecosystem design in order to promoting the health of natural systems, optimizing input consumption, enhancing production per unit input consumption, improving economic efficiency and increasing ecological sustainability. To achieve these goals, it is necessary to assess the sustainability of the agroecosystem to identify challenges and strengths. Quantification of sustainability leads to an increase in awareness of the state of the system, which is of particular importance in making the right decisions and managing them. Emergy is a thermodynamic tool for assessing the sustainability of biological and agricultural systems. By evaluating and comparing the sustainability of production systems in this way, human activity in the ecosystem is translated into the language of thermodynamics. Over the past three decades, emergy as a powerful tool has been prove to examine the overall performance and sustainability of the different production systems. The use of emergy analysis approach in assessing the sustainability of crop systems, leads to the application of proper management to increase the sustainability of production in these systems. In this study, six production systems of wheat, onion, garlic, fennel, cumin and black seed were evaluated in the city of Helmand, Iran, using ecological and economic indicators in terms of ecological sustainability.

Materials and Methods

This study was conducted in the production systems of wheat, onion, garlic, cumin, fennel, and black seed in Hirmand County in 2019 and 2020. For this purpose, 117 farms were selected for wheat, 47 farms for onions, 32 farms for garlic, 17 farms for cumin, 12 farms for fennel and 8 farms for black seed. Information on inputs and outputs of crop systems were obtained using the following two methods: first, verbal estimates using a questionnaire, and second, field measurements and researchers' observations. In this study, free renewable and non-renewable environmental inputs and non-free inputs for two systems were determined in terms of the same unit of solar emjoule (sej). To analyze production systems and calculate the indices, inputs were categorized into four types; free renewable environmental inputs (R), free non-renewable environmental inputs (N), free renewable inputs (F_R) and non-free non-renewable inputs (F_N). The emergy-based indices calculated in this study were Transformity (Tr), Renewable emergy percentage (%R), Emergy Yield Ratio (EYR), Emergy Investment Ratio (EIR), Emergy Exchange Ratio (EER), Environmental Loading Ratio (ELR), Emergy Sustainability Index (ESI), and Emergy Index of Product Safety (EIPS).

Results and Discussion Total emergy supporting for the production systems of wheat, onion, garlic, fennel, cumin and black seed in Hirmand County were 3.25E+16, 3.37E+16, 4.36E+16, 2.29E+16, 1.84E+16, and

1- PhD student in Agroecology, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran.
2 Associate Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran.
3- Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran.
(*- Corresponding Author Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)
DOI:10.22067/agry.2021.69477.1032

1.82E+16 sej ha^{-1}, respectively. Free environmental flows represented 74.27, 67.85, 52.21, 56.16, 56.56 and 52.49% of the total input energy of the production systems of wheat, onion, garlic, fennel, cumin and black seed, respectively. The large share of free internal inputs indicated that most of the studied farms are non-industrial systems that are traditionally managed and low-input. The values calculated for the sustainability indices (ESI and ESI*) showed that the ecological sustainability of the fennel production system is higher than the other systems. The main reason for the greater sustainability of this system was the high share of energy input related to free environmental inputs and economic renewable resources. In addition, high emergy exchange ratio (EER), environmental sustainability resulting from the impact on the market, less emergy expended in the production of each unit of production and higher productivity of all production factors indicated a greater comparative advantage of the fennel production system.

Conclusion

Overall, assessments based on the calculation of 14 emergy and economic indicators showed that special attention to practical solutions for the overall management of production ecosystems, in particular the protection of the soil organic matter and preventing soil erosion can increase the ecological sustainability in the main agricultural systems of Hirmand County.

Keywords: Environmental burden, Integrated analysis, Intensive agriculture, Sistan, Sustainability quantification